

平成 22 年度 入学者選抜学力検査問題

理 科

注 意 事 項

- 1 試験開始の合図があるまで、問題冊子及び解答用紙の中を見てはいけません。
- 2 出題科目、ページ及び解答用紙の枚数は、下表のとおりです。

出題科目	ページ	解答用紙枚数
物 理	1 ～ 10	4
化 学	11 ～ 20	5
生 物	21 ～ 38	6
地 学	39 ～ 50	6

- 3 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚れ等に気がついた場合は、手を挙げて監督者に知らせてください。
- 4 試験開始後、すべての解答用紙に受験番号、志望学部及び氏名を記入してください。受験番号の記入欄はそれぞれ2箇所あります。
- 5 解答はすべて解答用紙の指定された解答欄に記入してください。
- 6 問題冊子の余白は適宜使用してください。
- 7 各問題の配点は100点満点としたときのものです。
- 8 試験終了後、問題冊子は持ち帰ってください。

物 理

1 以下の各問につき説明文を読み、その後の問いに答えなさい。(配点 25)

問 1 下図のようになめらかな水平面上を速度 v_0 [m/s] で動いていた質量 m [kg] のピンポン球に、時刻 0 から一定の力 F [N] を加えた。ピンポン球がはじめ動いていた方向を正の向きとし、時刻 t [s] におけるピンポン球の速度と加速度をそれぞれ v [m/s]、 a [m/s²] とする。ここではピンポン球の回転運動の影響は無視する。



力 F を受けているときのピンポン球の運動方程式は次式になる。

$$ma = \boxed{\text{①}} \quad (1)$$

上式から加速度 a は時間によらない一定値であることがわかる。したがって、 a は時刻 0 から t における平均加速度 $\boxed{\text{②}}$ [m/s²] と等しい。そこで、この値を式(1)に代入して整理すると次式を得る。

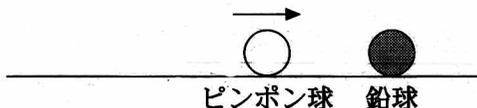
$$mv - mv_0 = \boxed{\text{③}} \quad (2)$$

式(2)から速度 v の時間変化を求めてグラフに表すと、時刻 0 から t の間にピンポン球が進んだ距離 l [m] は、このグラフ中のある領域の面積で表される。その値は v_0 、 v 、 t を用いて表すと $l = \boxed{\text{④}}$ となる。この式と式(2)より t を消去すると、以下のような関係式を得る。

$$\frac{1}{2} mv^2 = \boxed{\text{⑤}}$$

- (1) 空欄①から⑤に適切な数式を入れなさい。
- (2) 下線部の「ある領域の面積」とはどのような領域か。図示しなさい。

問 2 下図のように、速度 v_0 [m/s] でなめらかな水平面上を動いていた質量 m [kg] のピンポン球が静止していた質量 M [kg] ($M > m$) の鉛球に衝突し、鉛球は動き出した。ピンポン球と鉛球の衝突前後における運動はいずれも一直線上の運動であり、回転はしていなかった。以下ではそれぞれの重心の運動に注目して議論する。また、ピンポン球がはじめ動いていた方向を正の向きとする。



衝突中にピンポン球と鉛球が力を及ぼしあう時間を Δt [s] とする。この間に鉛球はピンポン球から一定の力 F [N] を受けるとしよう。ピンポン球と鉛球の衝突中の加速度をそれぞれ a , A [m/s²] とおくと、衝突中の各球の運動方程式は次式で与えられる。

$$\begin{cases} ma = \boxed{\text{①}} \\ MA = \boxed{\text{②}} \end{cases} \quad (3)$$

式(3)から衝突中の加速度は時間によらない一定値であることがわかる。衝突後のピンポン球と鉛球の速度をそれぞれ v , V [m/s] とおき、これらと v_0 , Δt を用いて衝突中の各球の加速度を表すと次式になる。

$$\begin{cases} a = \boxed{\text{③}} \\ A = \boxed{\text{④}} \end{cases} \quad (4)$$

式(3), (4)より、この衝突においては次式が成り立つことがわかる。

$$mv + MV \boxed{\text{①}} mv_0$$

衝突中に両者が動いた距離は等しく Δs [m] であったとしよう。衝突中に働いた力によってピンポン球がされた仕事は $\boxed{\text{⑤}}$ であり、鉛球がされた仕事は $\boxed{\text{⑥}}$ である。したがって、この衝突による両球の運動エネルギーの和の増加量 ΔK は次式を満たすことがわかる。

$$\Delta K \boxed{\text{②}} 0$$

- (1) 空欄①から⑥に適切な数式を入れなさい。
- (2) 空欄①と②に適切な等号あるいは不等号を入れなさい。

- 2 図1のように x 軸上の点 $(a, 0, 0)$ と $(-a, 0, 0)$ に正の点電荷 Q [C]が置かれている。これらの点電荷がつくる電場について、以下の問いに答えなさい。ただし、 a [m]は正の定数とし、真空の誘電率を ϵ_0 [$C^2/(N \cdot m^2)$]とする。(配点 25)

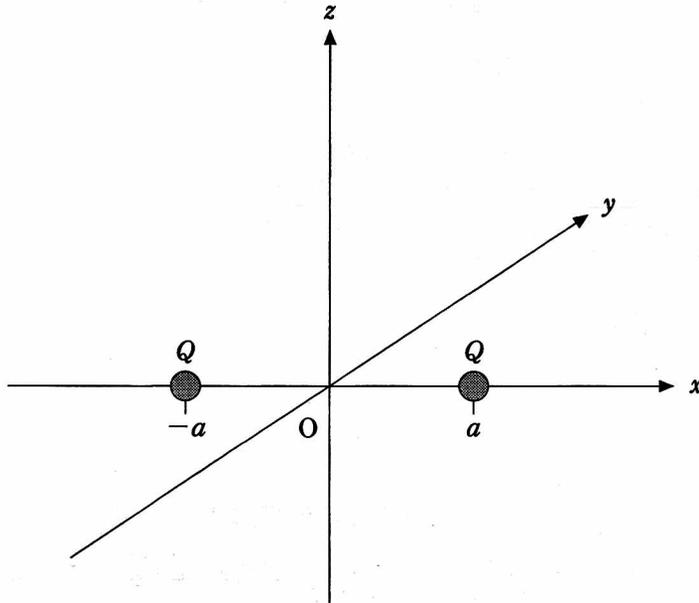


図1

- 問1 x 軸上に正の点電荷 q [C]を置いた。この点電荷に働く力の向きは点電荷を置く位置によって異なる。点電荷 q に x 軸の正の向きに力が働く区間と、 x 軸の負の向きに力が働く区間、また働く力が0である点をそれぞれ答えなさい。
ただし、点電荷 Q のある x 軸上の点 $(a, 0, 0)$ と $(-a, 0, 0)$ は除いて答えなさい。

- 問2 x 軸上の点 $(2a, 0, 0)$ に置いた点電荷 q に働く力の大きさは、それを x 軸上の点 $(3a, 0, 0)$ に置いた場合に働く力の大きさの何倍であるかを答えなさい。

- 問3 z 軸上の点 $(0, 0, a)$ における電場の大きさとその方向を答えなさい。

問 4 yz 平面内の点 $(0, a, a)$ における電場の方向が y 軸となす角度を答えなさい。

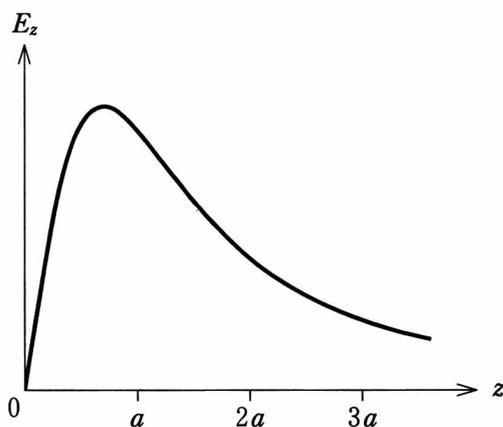


図 2

問 5 図 2 のグラフに z 軸上の電場の z 成分 E_z が描かれている。この図を参考にして、点 $A(0, 0, a)$ と点 $B(0, 0, 2a)$ 間の電位差と、点 $B(0, 0, 2a)$ と点 $C(0, 0, 3a)$ 間の電位差はどちらが大きいか、理由を述べて答えなさい。

問 6 原点 O 、点 A 、点 B 、点 C の電位の高さの順を O, A, B, C の記号で高い方から答えなさい。

問 7 yz 平面上の等電位線として最も適切な概略図を図 3(a)–(f) の内から選び、その記号を答えなさい。ただし、隣り合う等電位線の電位差は一定であるとする。

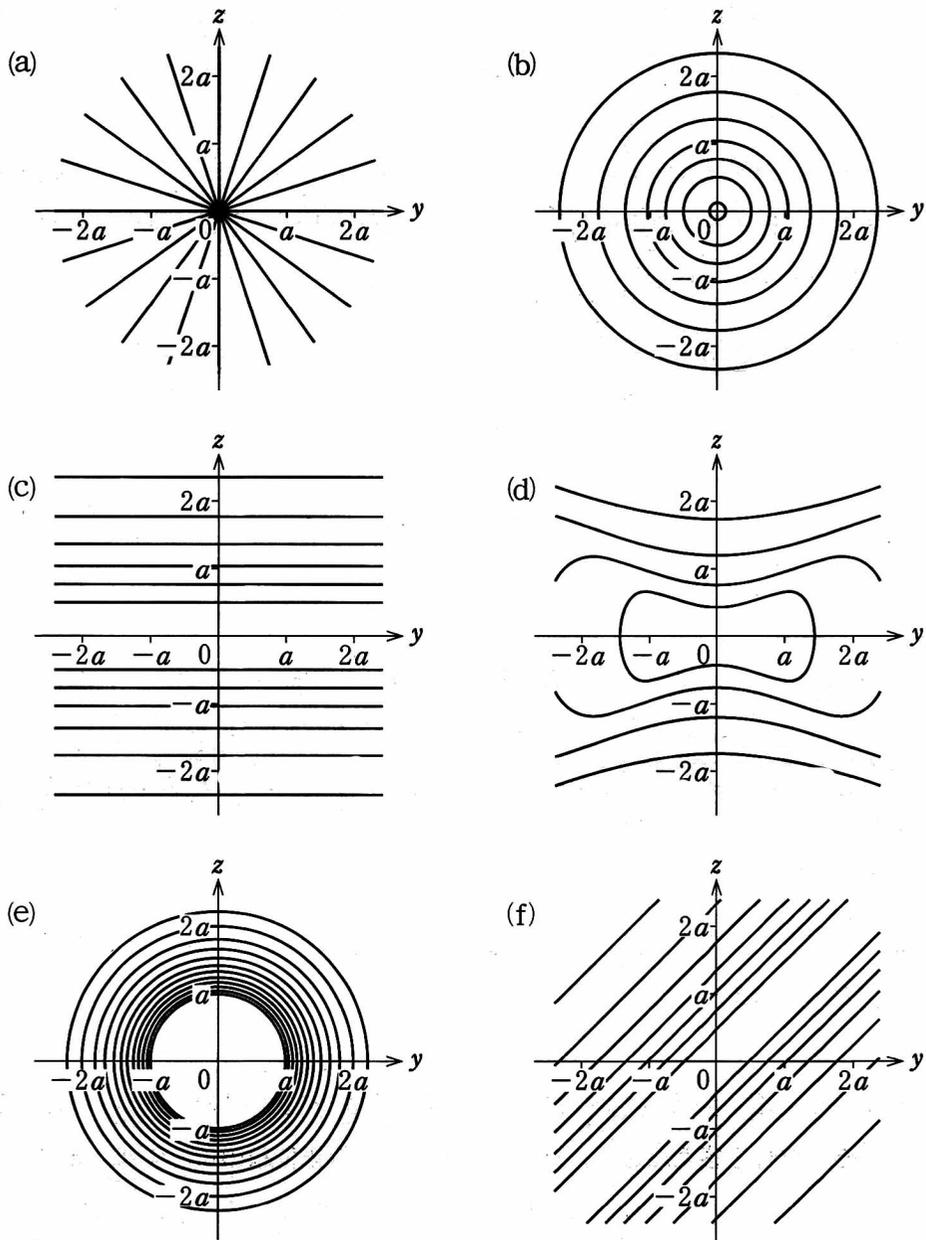


图 3

3 以下の説明文を読み、その後の問いに答えなさい。(配点 25)

図1のようにピストンがついた断面積 $S[\text{m}^2]$ の円筒容器がある。容器内には単原子分子の理想気体が $n[\text{mol}]$ だけ閉じ込められている。ピストンの運動方向は鉛直方向で、ピストンの質量およびピストンと容器内壁で生じる摩擦は無視する。気体定数は $R[\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})]$ 、重力加速度の大きさは $g[\text{m}/\text{s}^2]$ とする。

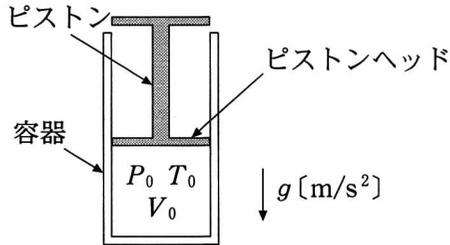


図1

はじめに、容器内の理想気体の体積は $V_0[\text{m}^3]$ で、その圧力と温度は容器外部の圧力 $P_0[\text{Pa}]$ および温度 $T_0[\text{K}]$ と等しかった。この状態で、図2のようにピストンヘッド下部に止め具を取り付けた後、ピストン上部に質量 $M[\text{kg}]$ の物体を置き、容器内の理想気体に外部から熱を与えた。温度が $T_1[\text{K}]$ に達したとき、圧力が $P_1[\text{Pa}]$ となり、ピストンは上昇し始めた。その後、理想気体は圧力一定でゆっくりと膨張し、体積が $2V_0$ となったときピストンは静止した。静止したときの温度は $T_2[\text{K}]$ であった。以下の問いに答えなさい。

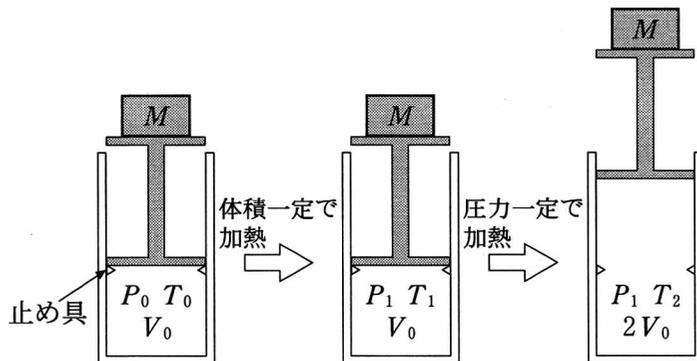


図2

問 1 圧力 P_1 を P_0 , M , g および S を用いて表しなさい。

問 2 圧力比を $x = \frac{P_1}{P_0}$ とおく。 x および T_0 を用いて、 T_1 および T_2 を表しなさい。

問 3 容器内の理想気体がした仕事 W [J] を n , R , T_0 および x を用いて表しなさい。

問 4 容器内の理想気体が得た熱量 Q [J] を n , R , T_0 および x を用いて表しなさい。

つぎに、図 3 のようにピストンヘッド上部に止め具を取り付けた後、ピストン上部の物体を取り除き、容器内の理想気体 (P_1 , T_2 , $2V_0$) を放熱させた。容器内の理想気体の温度が T_3 [K] で圧力が P_0 となったとき、ピストンはゆっくり下降し始め、初期の状態 (P_0 , T_0 , V_0) へ戻った。以下の問いに答えなさい。

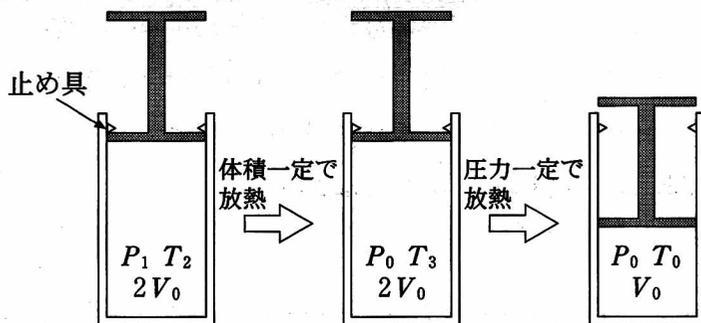


図 3

問 5 ピストン内の理想気体が外部からされた仕事 w [J] を n , R および T_0 を用いて表しなさい。

図2と図3の過程を繰り返す熱機関について、以下の問いに答えなさい。

問6 1サイクルの間に容器内の理想気体が外部にする正味の仕事を n 、 R 、 T_0 および x を用いて表しなさい。

問7 容器内の理想気体が得た熱量 Q が外部から与えた熱量と等しいとき、熱効率 e を x を用いて表しなさい。また、 $x=3$ の場合の熱効率 e の値を求めなさい。

4 電磁波の一種であるマイクロ波を使って正弦波の干渉・回折現象を調べる実験を行った。以下の問いに答えなさい。電磁波の進む速さは $c = 3.0 \times 10^8$ m/s である。(配点 25)

問 1 波長が 5.0 cm のマイクロ波の振動数を答えなさい。

問 2 波長が λ_0 [m] のマイクロ波を、図 1 のように 2 つのアンテナ A, B から常に同じ位相で送信し、アンテナ C で受信する。送信アンテナと受信アンテナは十分離れており、2 つのマイクロ波は平行に受信アンテナに入る。

- (1) 送信アンテナ A と B が C から等距離の時、受信強度は極大であった。次に A を徐々に後退させ、 b [m] だけ移動させたところで C の受信強度は極小となった。 b を答えなさい。
- (2) 送信アンテナ A をさらに後退させると受信強度は再び極大となった。この配置で発信機の振動数を増やしていく。C の受信強度がはじめて極小となるマイクロ波の波長を λ_0 を用いて表しなさい。

問 3 送信アンテナと受信アンテナの間に、金属でできた 2 重スリットを置いた。マイクロ波の波長を λ [m]、スリットの間隔を d [m] とする。アンテナとスリットの距離は十分離れている。図 2 のように、スリットに対して θ_1 の角度で入射したマイクロ波を θ_2 の角度で受信する。

- (1) θ_2 を変えたとき、受信強度が極大となる条件を $d, \lambda, \theta_1, \theta_2$ を用いて表しなさい。
- (2) 特別な場合として、垂直入射 ($\theta_1 = 0$) を考える。マイクロ波の波長は 5.0 cm、スリットの間隔は $d = 0.40$ m、スリット面から受信アンテナ C までの距離は 5.2 m とする。C をスリット面に平行に移動させた時、受信強度が極大となる間隔を求めなさい。ただし、 θ_2 が小さい範囲を考え、 $\tan \theta_2 \doteq \sin \theta_2 \doteq \theta_2$ と近似してよい。

問 4 発信アンテナ A を乗せた自動車は速度 v [m/s] で静止した受信アンテナ C から遠ざかっていく。マイクロ波は音波と同様にドップラー効果を起こすとして、以下の問いに考え方を含めて答えなさい。

(1) 発信機が振動数 f [Hz] でマイクロ波を出す時、C が受けるマイクロ波の振動数を答えなさい。

(2) 図 3 のように、自動車の前方に反射板が置かれている。これに反射したマイクロ波と、直接伝わるマイクロ波を同時に C で受信したら、強度変動があった。この現象を何というか。また、強度変動の周期を答えなさい。

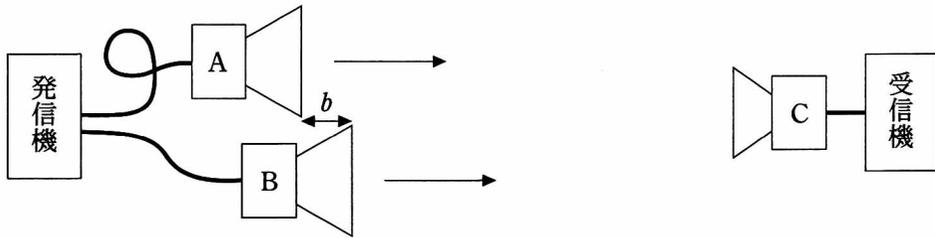


図 1

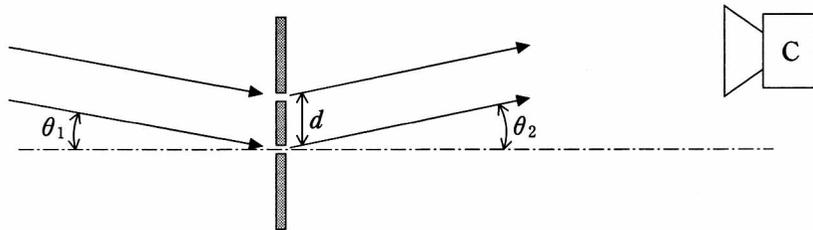


図 2

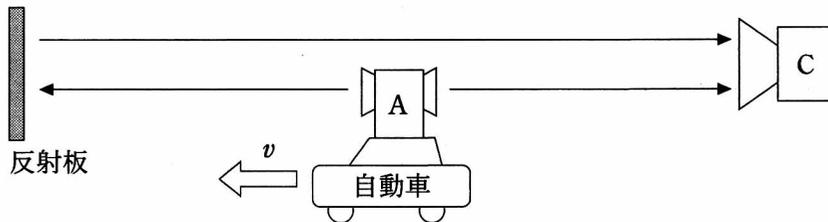


図 3